

## 明細書

## エッチング方法

発明の背景および関連技術の説明

本発明は、ポリシリコン膜等の薄膜をエッチングするためのエッチング方法に関する。

一般に、半導体集積回路やLCD基板等を製造するためには、半導体ウエハやガラス基板等の基板に対して、成膜とパターンエッチング等を繰り返し行なって、多数の所望の素子を形成するようになっている。

そして、そのような多数の素子の中でも、例えばMOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) を製造する場合には、このMOSFETのゲート電極であるポリシリコン膜のエッチング工程は非常に重要となる。その理由は、このMOSFETのゲート電極長は、素子自体の電気的特性を決定する上で重要な要素となるからである。そのために、このエッチング工程ではゲート電極長を基板全面に亘って正確にエッチングしなければならず、非常に精度の高い加工と加工均一性が要求される。

このポリシリコンのエッチングプロセスは、従来の平行平板型のプラズマエッチング装置ではプロセス圧が高過ぎてエッチングの面内均一性を十分に高く維持できないことから、数m Torr台の低いプロセス圧を実現することができる誘導結合型のプラズマ処理装置が主として用いられている。

図9は上述したような従来の一般的な誘導結合型のプラズマ処理装置を示す模式図である。このプラズマ処理装置は、略円筒体状の処理容器2を有し、この内部が反応室内となる。この処理容器2の内部に半導体ウエハWを載置するための載置台4を設けている。処理容器2内の雰囲気は、載置台4の周囲に沿って容器

底部に設けた環状の排気口 6 から真空排気される。

処理容器 2 の天井部には、これよりも直徑の小さなプラズマ形成容器 8 が下方と連通させて設けられており、内部にプラズマ形成室を形成している。このプラズマ形成容器 8 には、例えば 13. 56 MHz の高周波電源 10 に接続された誘導コイル 12 が巻回されている。

そして、プラズマ形成容器 8 の天井部に設けたガス導入部 14 から導入されたエッティングガス、例えば塩素 ( $\text{Cl}_2$ ) ガスは、誘導コイル 12 により発生される電磁界により解離されてプラズマ状態となり、このプラズマにより塩素分子あるいは原子が活性化されて活性種を生成する。この時の塩素ガスの供給量は、例えば反応室の容量 59 リットルに対して 125 sccm 程度である。この活性種は、プラズマ形成室から流下して処理容器 2 の反応室内へ流れ込む。この際、活性種はプラズマ形成室の出口に設けた傘状の整流板 16 によって案内されつつ拡散されて、ウエハ表面上に略均等に流下し、ウエハ表面の例えばポリシリコン膜をエッチングすることになる。

ところで、数 m Torr 程度の低圧下でプラズマ形成容器 8 内から処理容器 2 内へ流下するガスあるいは活性種の挙動、あるいは流れ方は非常に複雑であり、従来このような低圧下ではガスあるいは活性種は主として拡散により拡がり、ウエハ表面上に略均一に流下するものと考えられていた。

しかしながら、上述したような方法では、ウエハ中心部と周辺部との間でエッティングレートにかなり差があり、エッティングの面内均一性が劣化する場合があった。それでも、6インチ、8インチサイズのウエハの場合には、このエッティングの不均一性がそれ程問題とはならなかったが、ウエハサイズが12インチ (30 cm) になって大型化すると、このエッティングの不均一性がかなり大きくなり、所望する面内均一性が得られなくなるという問題があった。

### 発明の目的および概要

本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、エッチングレートの面内均一性を大幅に改善することができるエッティング方法を提供することにある。

本発明者は、エッティングガスや活性種の流れについて、ガス供給種を種々人幅に変更してシミュレーションを行なった結果、ガス供給量を多くすると、拡散によるウエハ周縁部への流束は大きくは変化しないが、流れによるウエハ周縁部への流束は大きく変化して全体的にエッティングレートの面内均一性を向上させることができる、という知見を得ることにより、本発明に至ったものである。

本発明によるエッティング方法は、上記問題点を解決するために、プラズマ形成室にガス導入部からエッティングガスを導入する工程と、前記プラズマ形成室において、高周波により前記エッティングガスをプラズマ化することにより活性種を形成する工程と、前記プラズマ形成室に連結され真空引きされた反応室において、前記プラズマ形成室から流下する前記活性種により被処理体にエッティング処理を施す工程とを備え、前記エッティングガスを導入する工程において、導入される前記エッティングガスの流量が、前記反応室の実質的な容量の1リットルに対して8.4 sccm以上となるようにしたものである。

以上のように、導入されるエッティングガスの流量を、反応室の実質的な容量の1リットルに対して8.4 sccm以上とすることにより、エッティングレートのみならず、エッティングの面内均一性も向上させることが可能となる。

上記エッティング方法の活性種を形成する工程において、誘導コイルを用いた誘導結合によって、上記エッティングガスをプラズマ化するようにすることができる。また、上記エッティングガスとして例えば塩素ガスを用い、これにより上記エッティング処理を施す工程において、上記被処理体に形成されたポリシリコン膜をエッティングすることができる。

### 図面の簡単な説明

図1は、本発明によるエッチング装置の一実施形態を示す概略構成図、

図2は、図1に示すエッチング装置におけるエッチング時のエッチングガスの反応を示す図、

図3は、エッチングガスの流量を種々変更した時のエッチングレートの変化を示すグラフ、

図4 A乃至図4 Cは、反応室内のC<sub>4</sub>I濃度を3次元的に示すグラフ、

図5は、エッチングガスの流量と全圧および各ガスの分圧との関係を示す表、

図6 A乃至図6 Cは、反応室内のSiCl<sub>2</sub>濃度を3次元的に示すグラフ、

図7 A及び図7 Bは、ウエハ周辺部におけるエッチャントの流速分布を示す図、

図8 A及び図8 Bは、ウエハ周辺部におけるエッチャントの流速分布を示す図、

図9は、従来の一般的な誘導結合型のエッチング装置を示す模式図である。

### 発明の好適実施形態の詳細な説明

以下に、本発明に係るエッチング方法および装置の一実施形態を添付図面に基づいて詳述する。図1は本発明方法を実施するために用いるプラズマ処理装置を示す概略構成図、図2はエッチング時のエッチングガスの反応を示す図、図3はエッチングガスの流量を種々変更した時のエッチングレートの変化を示すグラフである。

図示するように、このプラズマ処理装置18は、例えばアルミニウム等よりなる略円筒体状の処理容器20を有しており、この内部空間が反応室22として形成される、この処理容器20内には、被処理体である例えば半導体ウエハWを載置するための例えば金属や絶縁体製の円形の載置台24が設置されている。尚、載置台24にウエハ温度をコントロールする抵抗ヒータ及びイオンを引き込むための電極等を設けるようにしてもよい。そして、この載置台24を開むようにして処理容器20の底部には、円環状の排気口26が設けられており、この排気口

26には途中に真空ポンプ28を介設した真空排気系30が接続されており、処理容器20内を真空引きできるようになっている。また、処理容器20の側壁には、ウェハWの搬入搬出時に開閉されるゲートバルブ32が設けられる。尚、載置台24には、これを気密に貫通してウェハWの搬入搬出時に下方より昇降する図示しないリフタピンが設けられる。

そして、処理容器20の大井部32の中央には、開口34が形成されており、この開口34には、例えば石英により略円筒体状に成形されたプラズマ形成容器36がシール部材38を介して気密に取り付け固定されており、プラズマ形成容器36内にプラズマ形成室40を構成している。従って、プラズマ形成室40は、開口34を介してこれよりも大きな直徑である反応室22に連通される。

上記プラズマ形成容器36の天井部には、ガス導入部としてシャワーヘッド部42が設けられており、このシャワーヘッド部42の下面に形成した複数のガス噴射孔44からプラズマ形成室40内に向けて、例えば塩素ガス(C1<sub>2</sub>)によるエッティングガスを供給できるようになっている。

また、このプラズマ形成容器36の外周には、誘導コイル46が所定の回数だけ巻きされており、この誘導コイル46には、例えば13.56MHzの高周波電源48が接続されている。そして、この誘導コイル46に13.56MHzの高周波を流すことによって、プラズマ形成室40内において誘導結合によりエッティングガスをプラズマ化して活性種を形成し得るようになっている。

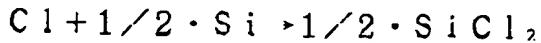
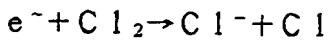
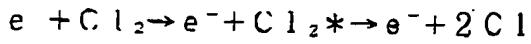
ここで各部の寸法は、例えば12インチ(30cm)サイズのウェハWをエッティング処理する場合には、載置台24の直徑L1は400mm程度、処理容器20内の天井部32と載置台24との間の距離L2は300mm程度、処理容器20内(反応室22)の直徑L3は500mm程度、プラズマ形成容器36(プラズマ形成室40)内の直徑L4は200mm程度、プラズマ形成室40の高さL5は200mm程度、載置台24の厚さL6は50mm程度にそれぞれ設定され

ている。従って、反応室22の実質的な容量は、59リットル ( $= \pi \times 250\text{mm} \times 250\text{mm} \times 300\text{mm}$ ) 程度となる。

次に、以上のように構成されたエッティング装置を用いて行なわれるエッティングについて説明する。まず、開閉可能なゲートバルブ32を介して処理容器20内へ搬入されたウエハWは、載置台24上に載置され、容器20内を密閉した後に処理が開始される。プラズマ形成容器36の天井部に設けたシャワヘッド部42からは、エッティングガスとしての塩素ガスが所定の流量でプラズマ形成室40内へ導入され、ここで誘導コイル46により発生される電磁界によってエッティングガスがプラズマ化され、このプラズマにより塩素原子や塩素分子の活性種が生成される。

このエッティングガスや活性種は、プラズマ形成室40からこの下方のより広い反応室22内へ拡散しながら流れ込み、反応室22内を流下しながらウエハ表面上に到達してウエハWの表面の例えばポリシリコン膜をエッティングすることになる。そして、エッティング処理済みのガスは、ウエハWの周辺部へ流れて行き、載置台24を囲むようにして環状に設けた排気口26から流出して真空排気系30により排出される。

ここで、図2にも示すように、塩素ガスは下記式に従って電子 $e^-$ によって活性化されてシリコンと反応すると考えられる。



ここで上記式中のマーク\*は電子励起状態であることを示す。

そして、本発明においては、プロセス圧力を例えば5~10mTorr程度の範囲内で一定としてエッティングガスの供給量を500sccm以上に設定する。従来は、ここに記載したような反応室22の実質的な容量が59リットル程度の

場合には、エッチングガスの流量は125 sccm程度であるが、本発明では、上述のように、これよりも遙かに多い500 sccm以上の流量でエッチングガスを供給する。この流量は、反応室22の実質的な容量の1リットルに対して8.4 sccm以上の流量となる。このような多量のエッチングガスを供給することにより、全体としてのエッチングレートを向上させることができるものならず、エッチングの面内均一性も向上させることが可能となる。

図3は、前述した装置例において、エッチングガスの供給量を150 sccm～1000 sccmまで種々変更した時におけるウエハ表面上のエッチングレートの分布を示すグラフである。この時のプロセス圧力は略5 mTorrとなるよう一定に維持している。

横軸は、ウエハの半径  $r_W$  とウエハの中心からの半径方向長さ  $r$  の比を表している。このグラフから明らかなように、エッチングガスの流量に関係なく、ウエハ中心と比較してウエハ周辺部においてはエッチングレートが急激に上昇している。しかしながら、エッチングガスの供給量が125 sccm, 250 sccmの場合には、ウエハ中央部から中周部におけるエッティングレートの変動量がある程度以上大きく、しかも、ウエハ周辺部におけるエッティングレートの上昇量もかなり大きくなって、全体としてエッティングレートの面内均一性があまり良好ではない。

これに対して、エッティングガスの供給量が500 sccm, 1000 sccmの場合には、ウエハ中央部から中周部におけるエッティングレートの変動量は非常に少なくて実質的には略ゼロであり、また、ウエハ周辺部におけるエッティングレートの上昇量は、供給量が125 sccmや250 sccmの場合と比較してそれ程多くない。

従って、エッティングガスの供給量を500 sccm以上(8.4 sccm以上／反応室の実質的な容量の1リットル)とすることにより、エッティングの面内均

一性を大幅に向ふことができる事が判明する。尚、この場合、プロセス圧力は、プラズマが立ち得る数m Torr以下の圧力であれば上記した流量を適用し得る。

ここで上記した結果についてDSMC (Direct Simulation Monte Carlo) 法を用いてエッティングガスや反応生成物の流れ場の解析をシミュレーションによって検証したので、その点について説明する。

図1は、反応室内のCl濃度を3次元的に示すグラフであり、グラフ中において $r$ はウエハ中心に対応する載置台24下面上の点O (図1および図2参照) から半径方向への距離を示し、Zは点Oから高さ方向への距離を示している。また、縦軸は塩素濃度 (密度場) を示す。従って、シャワーヘッド部42は $Z=0, 5$  5mの位置に設定されていることになる。

塩素ガスに関しては、図4Aは1000 sccmの流量であり、図4Bは250 sccmの流量であり、図4Cは125 sccmの流量である。図中の矢印はガスの流れ方向を示している。また、この時の各ガスの分圧及び全圧を図5に示す。尚、図5中には流量が500 sccmの場合も示す。

図4のグラフから明らかなように、塩素原子の拡散によるウェハへの数流束は、密度勾配に比例し、エッティングガス流量を125 sccmから1000 sccmへ増加する程、大きくなることが判明する。これが、エッティングレートがエッティングガス流量の増加と共に増加する理由である。しかしながら、図5を参照すると、圧力を測定している点での塩素原子の分圧は、エッティングガスの流量に依存しないで略一定であるので、これだけではエッティングレートがエッティングガス流量によって大きく変化していることを説明していることにならない。

また、図4において、ウェハがない部分での塩素原子の密度が高いことが分かる。これにより、ウェハがない部分から塩素原子がウェハの周辺部へ拡散するので、ウェハ周辺部でのエッティングレートが大きくなる理由が理解できる。しかしながら、エッティングガスの流量を変えてもウェハとウェハのない部分との間の境

界位置で密度勾配は大きく変化していないので、拡散による流束がエッティングレートに大きく寄与するとは考えることができない。

次に、反応副生成物である SiCl<sub>2</sub>の密度場について検討する。図6は反応室内の SiCl<sub>2</sub>濃度を3次元的に示すグラフであり、各軸の関係は図4の場合と同じである。塩素ガスに関しては、図6 Aは1000 sccmの流量であり、図6 Bは250 sccmの流量であり、図6 Cは125 sccmの流量である。尚、図6においては、図4の場合に対してr軸方向およびZ軸方向が逆になっている点に注意されたい。

この図6のグラフから明らかなように、各回においてウエハ表面が SiCl<sub>2</sub>の薄い層に覆われているのが分かり、エッティングガスの流量が125 sccmから1000 sccmに向けて増すと、その SiCl<sub>2</sub>の薄い層が次第に薄くなり、反応室内の SiCl<sub>2</sub>の量も減少することが判明する。この SiCl<sub>2</sub>の層が薄くなると、エッチャントである塩素原子は、ウエハ表面に到達し易くなる。言い換えるれば、エッティングガスの供給量が多くなると、エッチャントのウエハ表面への供給が多くなり、エッティングが推進される。

また、Z軸方向がウエハの位置で、r軸方向がウエハがない部分に対応する位置での SiCl<sub>2</sub>の密度勾配は、エッティングガスの流量が大きい程きつくなる。これは、流量が大きいときに、SiCl<sub>2</sub>を周辺部分で速やかに排気し、周辺部分でエッティングレートが大きくなる原図であると考えられる。

次に、エッティングガスの流れ場について考察する。図7及び図8はウエハ周辺部におけるエッチャントの流速分布を示しており、図7 Aはエッティングガスの流量が1000 sccmの場合、図7 Bはエッティングガスの流量が500 sccmの場合、図8 Aはエッティングガスの流量が250 sccmの場合、図8 Bはエッティングガスの流量が125 sccmの場合である。この図から明らかなように、大流量になれば、エッチャントである塩素原子Clの流れが強くなる。これが、

エッティングガスの流量の増加と共にエッティングレートが増加するもう1つの理由である。

また、図7Aに示すようにエッティングガスが大流量の場合には、エッチャントの流れの岐点がウエハの周辺部近くにあるが、図7B、図8A、図8Bに示すようにエッティングガスが次第に小流量になるに従って、エッチャントの流れの岐点はウエハの外側方向に向かって移って行き、図8Bに示す125 sccmの時には、岐点はウエハの略外側に位置する。これがウエハ中央部側へ強い流れを誘起して小流量の条件下で、ウエハ端近傍においてエッティングレートが広く上がってしまう原因となっていることが判明する。従って、図7A及び図7Bに示すように大流量の条件下ならば、ウエハ端近傍においてエッティングレートの上昇を抑制することができ、これがためにエッティングレートの面内均一性を向上させることができると判明する。

尚、本実施形態においては、ICP(誘導結合プラズマ)式のエッティング装置を用いて説明したが、これに限定されず、容量結合プラズマ(CCP)式のエッティング装置、サイクロトロン共鳴(ECR)式のプラズマ装置等にも適用できるのは勿論である。

また、エッティングガスとしては塩素ガスに限定されず、例えばClF系ガス等も用いることができる。また、被処理体としては、半導体ウエハに限定されず、ガラス基板、LCD基板等にも適用できるのは勿論である。

### 請求の範囲

1. プラズマ形成室にガス導入部からエッティングガスを導入する工程と、  
前記プラズマ形成室において、高周波により前記エッティングガスをプラズマ化  
することにより活性種を形成する工程と、  
前記プラズマ形成室に連結され真空引きされた反応室において、前記プラズマ  
形成室から流下する前記活性種により被処理体にエッティング処理を施す工程と  
を備え、  
前記エッティングガスを導入する工程において、導入される前記エッティングガス  
の流量が、前記反応室の実質的な容量の1リットルに対して8.4 sccm以上  
となるようにしたことを特徴とするエッティング方法。
2. 前記活性種を形成する工程において、誘導コイルを用いた誘導結合によ  
って、前記エッティングガスをプラズマ化することを特徴とする請求項1記載のエ  
ッティング方法。
3. 前記エッティングガスは塩素ガスよりなり、前記エッティング処理を施す工  
程において、前記被処理体に形成されたポリシリコン膜をエッティングすることを  
特徴とする請求項1記載のエッティング方法。

開示の要約

エッティングガスを導入するガス導入部と、高周波により前記エッティングガスを  
プラズマ化することにより活性種を形成するプラズマ形成室と、このプラズマ形  
成室に連結されて前記プラズマ形成室よりも大きな直徑の空間を有する反応室と、  
この反応室内に設けられ、前記プラズマ形成室から流下する前記活性種によりユ  
ッチング処理を施すための被処理体を載置する載置台と、前記反応室内を真空引  
きする真空排気系とを備えたエッティング装置を用い、前記ガス導入部から導入さ  
れる前記エッティングガスの流量が、前記反応室の実質的な容量の1リットルに対  
して8.4 sccm以上となるようすれば、エッティングレートの面内均一性が  
大幅に改善される。

00000000000000000000000000000000